

Разработанный программный продукт позволит выявлять наличие отклонений от нормального хода плавки и определять его тип по данным о работающей печи. Пользователь программы имеет возможность в любой момент просмотреть графическую информацию по каждому из параметров, используемых в расчете отклонений, а также осуществлять диагностику хода печи в режиме реального времени.

Список использованной литературы

1. Otsuka R. [e.a.] Совершенствование технологии управления и систем контроля для доменной печи // Сумитомо киндзоку=Sumitomo Metals. 1992. 44. №1. С.161–172.
2. Kenaga Yasuharu. Разработка экспертной системы для долгосрочного управления работой доменной печи // Дзайре то пуросэсу = Curr. and Mater. and Proc. 1991. 4. № 5. С. 1384.
3. Ed. By Yasuo Omori. Blast furnace Phenomena and modelling / Elsevier applied science. – London and New York, 1987. – 631 p.
4. Пат. Рос. Федерация: МПК 7G 05 B13/02. Интеллектуальная система регулирования / В. И.Соловьев, Ю. В. Ипатов, В. А. Краснобаев // № 200212 0524/09 Оpubл. 01.08.2002.
5. Лисиенко В. Г., Чистов В. П., Пареньков А. Е. и др. Принципы построения экспертных систем в металлургии на примере экспертной системы «Советчик мастера доменной печи». Екатеринбург: УГТУ, 1996. 45 с.
6. Спирин Н. А., Ипатов Ю. В., Лобанов В. И. и др. Информационные системы в металлургии / под ред. Н. А. Спирина. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
7. Спирин Н. А., Лавров В. В., Рыболовлев В. Ю., Краснобаев А. В., Онорин О. П., Косаченко И. Е. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
8. Онорин О. П., Спирин Н. А., Терентьев В. Л. и др. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.

УДК 669-042

В. Г. Свиткин, В. С. Швыдкий

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ИНЖЕКЦИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ФУРМЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Аннотация

Рассмотрена математическая модель фурменного очага доменной печи, работающей с использованием инжекции пылеугольного топлива. Модель включает уравнение баланса общей массы газа, уравнения баланса массы компонентов газа, уравнение теплового баланса газа, уравнение движения частиц угольной пыли, уравнение теплового баланса частицы

угольной пыли. На основе этой модели была разработана программа, позволяющая исследовать влияние различных факторов на температурные и концентрационные поля в фурменном очаге и подобрать рациональные параметры инжекции пылеугольного топлива с целью обеспечения полноты его сгорания в пределах фурменных очагов. Основные функции программы: представление результатов расчета в виде таблиц и графиков, хранение вариантов исходных данных в базе данных, экспорт результатов расчета в Microsoft Excel. Программа может быть использована технологами доменного цеха, а также в научно-исследовательской деятельности студентов.

Ключевые слова: доменная печь, пылеугольное топливо, фурменный очаг, математическая модель, программный продукт.

Abstract

The mathematical model of the raceway of the blast furnace working with use of injection of coal-dust fuel is considered. The model includes the equation of balance of mass of gas, the equation of balance of mass of components of gas, the equation of thermal balance of gas, the equation of movement of particles of a coal dust, the equation of thermal balance of a particle of coal dust. On the basis of this model the program was developed, allowing investigating influence of various factors on temperature and concentration fields in the raceway and choosing rational parameters of injection of coal-dust fuel, for the purpose of ensuring completeness of its combustion within the raceway. Main functions of the program: representation of results of calculation in the form of tables and diagrams, storage of options of basic data in a database, export of results of calculation to Microsoft Excel. The program can be used by technologists of domain shop, and also in research activity of students.

Keywords: blast furnace, coal-dust fuel, raceway, mathematical model, software product.

В связи с высокой стоимостью кокса металлургические предприятия стремятся к снижению его расхода в доменном производстве. Поскольку доля стоимости кокса в расходах на доменную плавку велика, снижение удельного расхода кокса позволяет значительно снизить себестоимость чугуна. Вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в фурменные очаги доменных печей – один из способов снижения удельного расхода кокса, который получил широкое распространение на заводах США, Японии, Украины и других стран, начиная с 80-х годов XX века. Преимуществом угля по сравнению с другими заменителями кокса является его низкая стоимость, большие запасы и высокая теплота сгорания у фурм доменной печи. Главная цель применения ПУТ – замена части кокса на более дешевый вид углеродсодержащего топлива, в основном, из неспекающихся марок углей. На практике до 40 % кокса может быть заменено угольной пылью [1].

Использование ПУТ снижает затраты по сравнению с ценой на кокс на 35–50 %. Кроме этого, затраты на строительство комплекса пылеугольного топлива на порядок ниже, чем на строительство коксохимического завода эквивалентной мощности, а затраты на ремонт комплекса в 1,5 раза меньше, чем на реконструкцию коксовых батарей. В свою очередь сокращение коксохимического производства благоприятно сказывается на сохранении окружающей среды, поскольку производство кокса сопровождается выбросом в атмосферу значительного количества пыли и вредных газов (вредные выбросы в атмосферу при вдувании

ПУТ в десять раз ниже по сравнению с вредными выбросами при производстве эквивалентного количества кокса).

Важной проблемой при использовании ПУТ является обеспечение полноты его сгорания в пределах фурменных очагов [2; 3]. В связи с этим возникает необходимость исследования влияния различных факторов на полноту сгорания ПУТ в фурменном очаге, а также на температуру и состав горнового газа. Эта проблема может быть решена разработкой и программной реализацией математической модели фурменного очага (ФО) доменной печи. Данная модель позволит технологу подобрать оптимальный расход ПУТ, крупность помола его частиц и другие параметры.

С позиций системного анализа доменная печь является сложной системой, которую можно разделить на несколько подсистем: подсистема теплообмена, движения газов материалов, восстановления железорудных материалов, плавления рудной части шихты, горения кокса в фурменном очаге. Для подсистемы горения кокса в фурменном очаге (ФО) входными параметрами являются параметры комбинированного дутья, коксовой насадки, а также геометрические параметры фурм и горна печи. Выходными параметрами являются распределения температуры, скорости газа и концентраций компонентов газовой фазы вдоль оси фурмы. Для построения математической модели инжекции угольной пыли необходимо рассмотреть закономерности процессов, протекающих в подсистеме горения кокса в ФО [4].

Согласно современным представлениям о процессах в ФО, после задувки печи первоначально осуществляется фильтрационный режим движения газов в рабочем пространстве. Вблизи фурмы выделяется осевая линия тока, вдоль которой скорость движения газов максимальна. Вдоль этой линии процесс горения кокса протекает наиболее интенсивно, вследствие чего образуется зона повышенной порозности слоя. По мере увеличения расхода дутья увеличивается объем зоны повышенной порозности слоя; по принципу наименьшей работы газы устремляются именно в эту зону. Поэтому в зоне повышенной порозности образуется свободная от кокса каверна, которая по мере увеличения расхода дутья превращается в изогнутую, постепенно расширяющуюся фурменную полость (рис. 1).

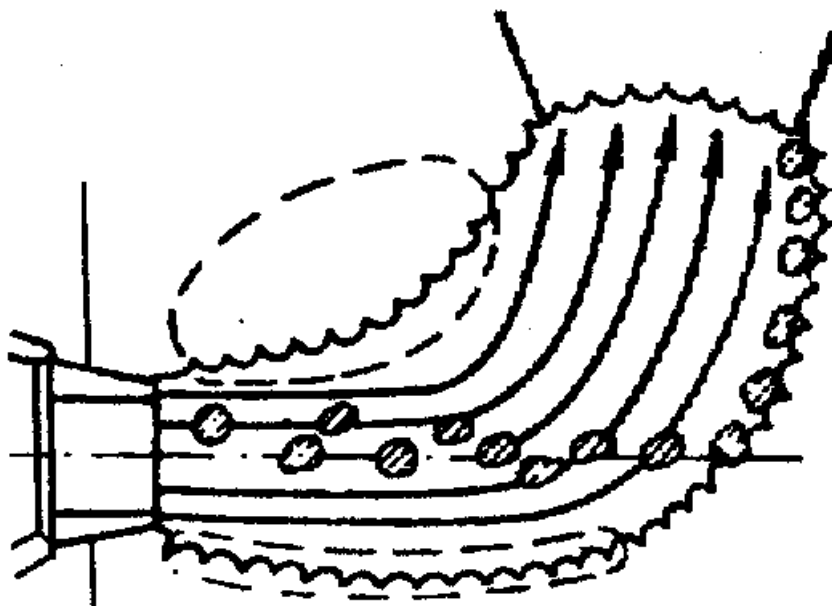


Рис. 1. Фурменный очаг

В рассматриваемой модели под ФО мы будем понимать свободную от кокса полость вблизи фурмы с примыкающей к нему оболочкой толщиной в 4-6 диаметров куска кокса. Поле скоростей газа в ФО двумерное, однако вертикальную составляющую скорости будем считать постоянной и пропорциональной горизонтальной. Процессы горения будем рассматривать как совокупность параллельно развивающихся явлений горения кокса в слое, одиночных кусков кокса и частиц угольной пыли.

Математическая модель задачи строится на основе методики расчета, изложенной в работе [4]. Математическая модель состоит из двух подсистем: подсистемы нагрева частиц УП и выделения летучих в фурменном приборе и подсистемы теплообмена и процессов горения в фурменном очаге. Рассмотрим основные уравнения подсистемы фурменного очага.

Уравнение баланса общей массы газа имеет следующий вид:

$$\frac{-dF_x}{dx} = \frac{\Pi(x)}{S(x)} F_y \xi + \sum_{i=1}^5 w_i, \quad (1)$$

где $S(x)$ – площадь ФО на элементарном участке с координатой x , $\Pi(x)$ – его периметр, F_x , F_y – компоненты мольного расхода газа (моль / $\text{м}^2 \cdot \text{с}$), w_i – скорости реакций при взаимодействии i -го компонента с коксом оболочки ФО, ξ – доля поверхности ФО, через которую газ уходит вверх (параметр настройки модели).

Уравнение баланса массы i -го компонента газа имеет вид:

$$\frac{-d(y_i)}{dx} = (y_i \sum_{j=1}^5 (w_j) - w_i) / F_x, \quad (2)$$

где y_i – массовая доля компонента газовой фазы.

Уравнение теплового баланса включает обычные статьи физической теплоты газа и кокса, теплообмена и выделения теплоты вследствие физико-химических превращений и имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dx} = [cT \sum_{i=1}^5 w_i + c_k T_k \sum_{i=1}^3 W_i^* + \sum_{i=1}^3 W_i^* (-\Delta H_i) + \alpha \cdot a(T - T_k)] / \\ / [F_x (c + T \frac{dc}{dT})], \end{aligned} \quad (3)$$

где α – коэффициент конвективной теплоотдачи, a – удельная поверхность кокса в единице объема ФО, T – температура газа, T_k – температура кокса в коксовой оболочке, W_i^* – общая скорость i -й реакции в оболочке ФО, ΔH_i – тепловой эффект i -й реакции, c , c_k – теплоемкости газа и кокса.

Кроме того, модель включает уравнение движения частицы угольной пыли, уравнение нагрева частиц и вспомогательные соотношения (зависимость теплофизических свойств веществ от температуры, давления и концентраций компонентов).

Для расчета скоростей химических реакций (реакции окисления углерода, реакции Будуара и реакции взаимодействия углерода с водяными парами) использовался подход, изложенный в работе [5]. Принимается, что энергия активации реакции Будуара в 2,2, а реакции взаимодействия углерода с водяными парами – в 1,6 раз больше реакции горения углерода. Также используется допущение, что графики зависимости константы скорости реакции от температуры для разных сортов угля сходятся в одной точке, называемой полюсом горения.

В этом случае константа скорости однозначно зависит от энергии активации соответствующей реакции. Сами координаты полюса горения являются параметрами настройки модели.

В качестве граничных условий приведенных уравнений выступают параметры комбинированного дутья на срезе фурмы. Начальные параметры частиц УП являются выходными параметрами подсистемы нагрева частиц УП и выделения летучих в фурменном приборе. Математическая модель нагрева частиц УП и выделения летучих в фурменном приборе подробно описана в работе [6].

Описанная математическая модель была реализована в виде программного продукта с использованием среды разработки MS Visual Studio 2010 и языка программирования C# [7].

Главное окно программы представлено на рис. 2.

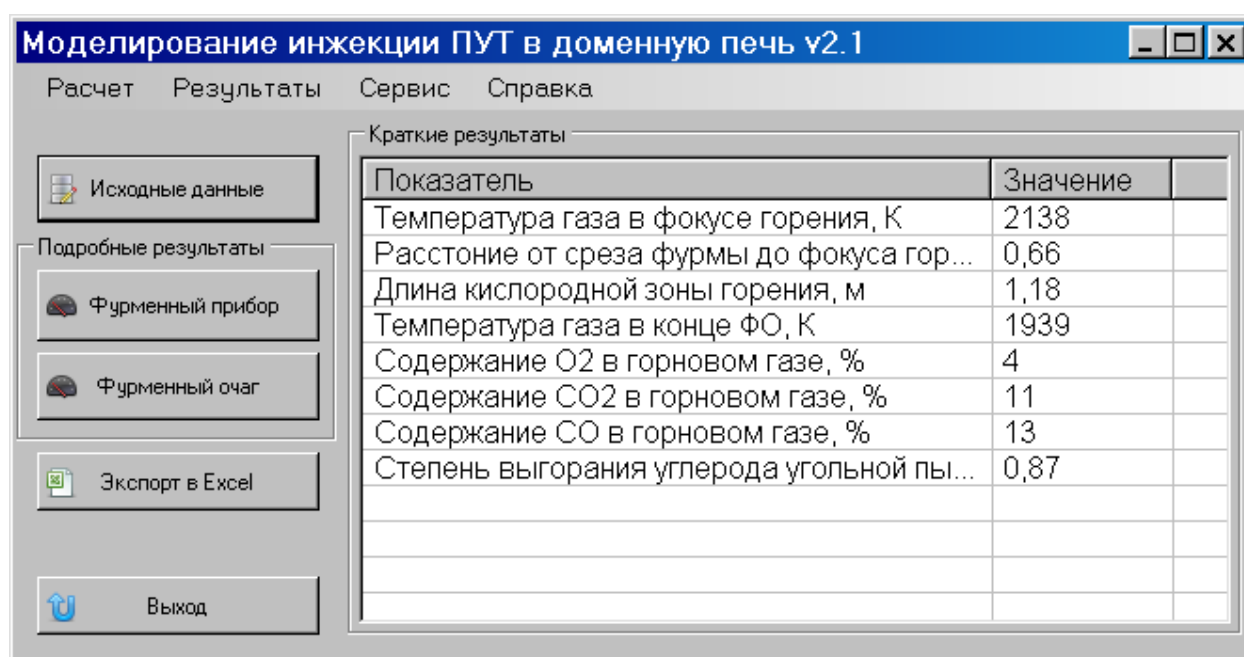


Рис. 2. Главное окно программы

Для осуществления расчета необходимо нажать кнопку «Исходные данные», ввести исходные данные и нажать кнопку «ОК». В главном окне выводятся краткие результаты расчета:

- температура газа в фокусе горения – максимальная температура газа в фурменном очаге;
- расстояние от среза фурмы до фокуса горения – расстояние до точки, в которой температура газа достигает максимума;
- длина кислородной зоны горения – расстояние до точки, в которой концентрация кислорода падает ниже 5 %;
- температура газа в конце фурменного очага;
- содержание компонентов горнового газа (в конце фурменного очага);
- степень выгорания углерода угольной пыли в конце фурменного очага (в долях от массы коксового остатка).

Данные показатели удобно использовать для сравнения результатов расчета.

Для просмотра подробных результатов используются кнопки «Фурменный прибор» и «Фурменный очаг». Окно просмотра подробных результатов представлено на рис. 3. Подробные результаты включают графики и таблицы распределения температуры газа, концентраций компонентов и других параметров по длине фурменного очага и фурменного прибора.

Для хранения вариантов исходных данных программа использует базу данных MS Access.

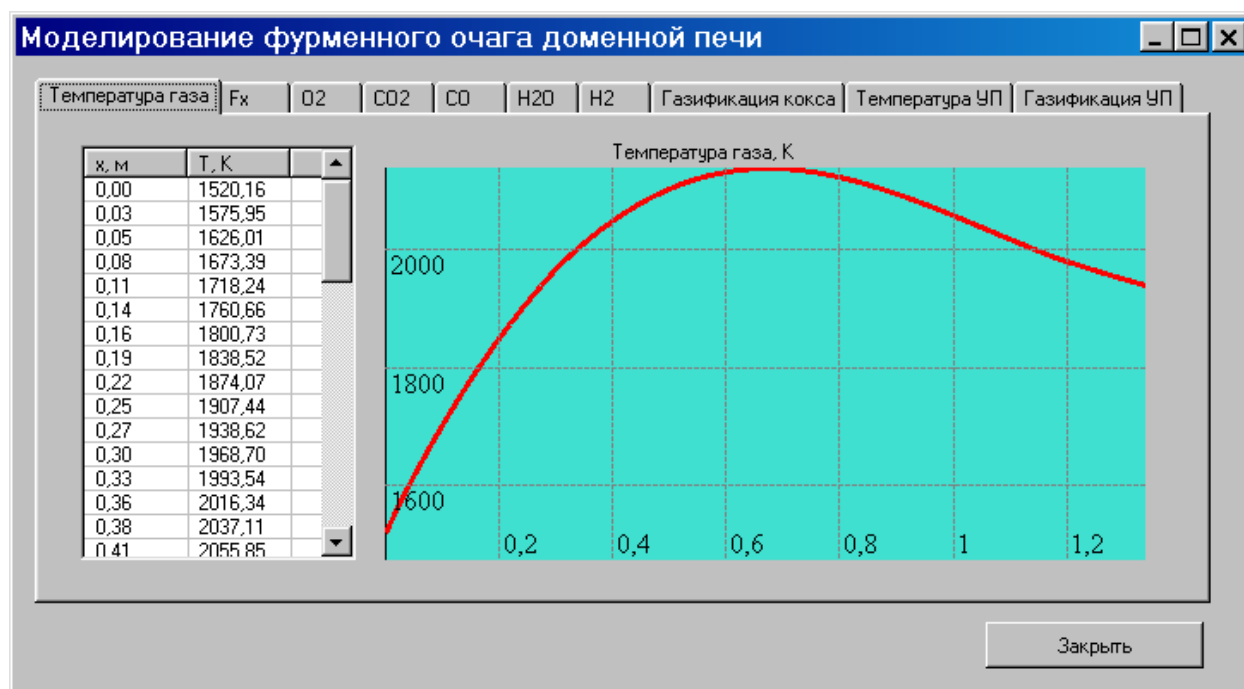


Рис. 3. Просмотр подробных результатов расчета

В программе предусмотрена функция экспорта результатов расчета в файл электронных таблиц Microsoft Excel. После выбора пути к файлу в диалоговом окне будет сформирован XLS-файл, состоящий из трех страниц:

- «Краткие результаты» – значения сводных характеристик;
- «Фурменный прибор» – таблица распределения величин по длине фурменного прибора;
- «Фурменный очаг» – таблица распределения величин по длине фурменного очага.

Рассмотрим влияние различных параметров ПУТ на основные характеристики фурменного очага. В табл. 1 показано влияние расхода ПУТ на основные параметры ФО. Видно, что повышение расхода ПУТ снижает температуру в фокусе горения и в конце фурменного очага – это означает, что для компенсации охлаждения ФО должно применяться повышение температуры дутья или его обогащение кислородом. Следует отметить, что при увеличении расхода ПУТ уменьшается длина кислородной зоны горения, и точка фокуса горения приближается к срезу фурмы, что может привести к более тяжелым условиям работы последней.

В табл. 2 показано влияние содержания летучих в угле на характеристики фурменного очага. Видно, что угли с большим содержанием летучих выгорают полнее.

Таблица 1

Параметры ФО при различных расходах ПУТ

Параметр	2 г/м ³	4 г/м ³	6 г/м ³	8 г/м ³
Температура газа в фокусе горения, К	2151	2147	2144	2140
Расстояние от среза фурмы до фокуса горения, м	0,74	0,71	0,68	0,68
Длина кислородной зоны горения, м	1,31	1,26	1,23	1,2
Температура газа в конце ФО, К	1983	1972	1960	1949
Содержание O ₂ в горновом газе, %	5	5	4	4
Содержание CO ₂ в горновом газе, %	12	12	12	11
Содержание CO в горновом газе, %	9	10	11	12
Степень выгорания углерода угольной пыли на выходе из ФО	0,86	0,85	0,84	0,82

Таблица 2

Параметры ФО при различном содержании летучих в угле

Параметр	5 %	10 %	20 %	30 %
Температура газа в фокусе горения, К	2130	2132	2135	2138
Расстояние от среза фурмы до фокуса горения, м	0,68	0,68	0,66	0,66
Длина кислородной зоны горения, м	1,2	1,2	1,2	1,18
Температура газа в конце ФО, К	1943	1942	1940	1939
Содержание O ₂ в горновом газе, %	4	4	4	4
Содержание CO ₂ в горновом газе, %	11	11	11	11
Содержание CO в горновом газе, %	13	13	13	13
Степень выгорания углерода угольной пыли на выходе из ФО	0,59	0,62	0,71	0,81

Обобщая результаты, полученные с помощью модели, можно сделать следующие выводы:

- инъекция ПУТ понижает температуру в фурменном очаге, для компенсации этого требуется повышение температуры дутья или обогащение дутья кислородом;
 - при инъекции ПУТ фокус горения приближается к фурме, поэтому следует уделять внимание ее стойкости;
 - для инъекции в доменную печь следует использовать уголь с содержанием летучих 20–40 % с крупностью помола частиц 0,1–0,15 мм;
 - точка ввода угольной пыли в поток дутья должна находиться на расстоянии не менее 1 м от среза фурмы.

Таким образом, разработанная информационно-моделирующая система позволяет исследовать влияние различных параметров на состояние фурменного очага доменных печей, работающих с инъекцией пылеугольного топлива. Система может быть использована технологиями доменного цеха для выбора рациональных значений технологических параметров, а также в научно-исследовательской деятельности студентов.

Список использованных источников

1. Плискановский С. Т., Полтавец В. В. Оборудование и эксплуатация доменных печей. – Днепропетровск: Пороги, 2004. – 495 с.
2. Дунаев Н. Е., Кудрявцева З. М., Кузнецов Ю. М. Вдувание пылевидных материалов в доменные печи. – М.: Metallurgia, 1977. – 208 с.
3. Кочура В. В., Ярошевский С. Л., Конченко Е. В. Исследование полноты сгорания пылеугольного топлива, вдуваемого в доменную печь // III Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення»: Зб. наук. ст. У 2-х т. Т.2 / УкрНДІЕП. – Х.: Райдер, 2007. С. 327–332.
4. Спирин Н. А., Швыдкий В. С., Лобанов В. И., Лавров В.В. Введение в системный анализ теплофизических процессов в металлургии: учебное пособие для вузов. Екатеринбург: Уральский государственный технический университет, 1999. – 205 с.
5. Померанцев В. В., Арефьев К. М., Ахмедов Д. Б. и др. Основы практической теории горения. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
6. Швыдкий В. С., Быков А. Г., Луговых Г. А., Карымов Р. Р. Газификация частиц угольной пыли в фурменном приборе доменной печи // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2008. – № 4. – С. 7–10.
7. Балена Ф., Димауро Дж. Современная практика программирования на Microsoft Visual Basic и Visual C#: пер. с англ. – М.: Русская редакция, 2006. – 640 с.

УДК 669-5

П. А. Силкин, В. Ю. Носков

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ SCADA-СИСТЕМЫ В РАМКАХ ПРОЕКТА ПО СОЗДАНИЮ АСУТП И МОДЕРНИЗАЦИИ АФФИНАЖНОГО ЦЕХА

Аннотация

В данной работе была разработана SCADA-система, применяемая в технологическом процессе аффинажного цеха. Система должна контролировать уровни азотной и соляной кислот в основных и промежуточных резервуарах, управлять насосами и задвижками, следить за параметрами окружающей среды. Необходимость внедрения автоматизированных систем в данной отрасли велика ввиду наличия большого количества агрессивных сред, требования точного дозирования и расхода кислот, повышения технико-экономических показателей. Техническое перевооружение заключается в переводе существующей технологии на автоматизированную с автоматическим контролем всех технологических параметров и увеличение общей производительности цеха аффинажа. После сдачи системы в промышленную эксплуатацию ожидается снижение энергетических ресурсов, увеличение точности